论文

题目　城市表层土壤重金属污染分析

作　　者：穆易辰

带队 老师：楚玉春

郑州市 57 中

摘要:随着人类活动对城市环境质量日益突出的影响，对城市土壤地质环境异常的查证逐渐成为人们关注的焦点。本文利用采样点的数据建立了数学模型对城市环境的质量做出评价与判断。针对题目要求，首先绘制出重金属分布图与海拔等值线图，给出重金属在该城区的空间分布。然后以《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）为基本标准给出污染评价。通过图的对比和污染评价得出重金属污染原因，传播特征及污染源位置。最后对模型作出评价。

问题一：采用三次多项式插值的方法绘制重金属分布图和海拔等值线图，给出重金属空间分布。然后采用单因子污染指数和尼梅罗污染综合指数给出污染评价，得出生活区、交通区、工业区为重污染，公园绿地区为中度污染，山区为轻度污染的结果，其中 Cu 和 Hg 的污染最为严重。

问题二：根据污染物迁移理论结合分布图和污染的分区评价，参考重金属用途，分元素分区域综合考虑，得到污染的原因主要为工业生产、生活垃圾、燃料的燃烧、汽车尾气等。

问题三：根据每种重金属在该城区空间分布的不同特征，分析出 Cr、Cu、Hg、Ni 呈富集状态，As、Cd 随水流、空气等因素传播，Pb、Zn 的传播受人为因素影响较大。对于空间分布广泛的重金属，建立赋权值的重心选址模型，采用穷举法，得出重金属污染源的大概位置，进行数据筛选，再次应用重心选址模型，得到污染源的位置。对于集中分布的重金属，直接进行数据筛选，通过重心选址模型确定每种重金属元素的污染源位置坐标。

问题四：对三次多项式插值和重心选址模型作出评价，并分别运用克里金插值和反演模型进行改进。对尼梅罗污染综合指数评价法赋权值进行改进。如果收集到不同深度的土壤检测数据（重金属元素含量、PH 值。土壤含水率等），可以建立推流迁移模型，得出污染时间的变化规律以及污染源的具体位置。

关键词：三次多项式插值　单因子污染指数　尼梅罗污染综合指数　重心选址模型

目录

1 问题重述…………………………………………………………4

2 问题分析…………………………………………………………4

3 模型假设…………………………………………………………5

4 符号说明…………………………………………………………5

5 模型的建立与求解……………………………………………6

6 参考文献 ………………………………………………………25

附录……………………………………………………………26

城市表层土壤重金属污染分析

1 问题重述

随着城市经济的快速发展和城市人口的不断增加，人类活动对城市环境质量的影响日显突出。对城市土壤地质环境异常的查证，以及如何应用查证获得的海量数据资料开展城市环境质量评价，研究人类活动影响下城市地质环境的演变模式，日益成为人们关注的焦点。

按照功能划分，城区一般可分为生活区、工业区、山区、主干道路区及公园绿地区等，分别记为 1 类区、2 类区、……、5 类区，不同的区域环境受人类活动影响的程度不同。

现通过对某城市城区土壤地质环境进行调查，我们要通过数学建模来完成以下任务：

(1) 给出 8 种主要重金属元素在该城区的空间分布，并分析该城区内不同区域重金属的污染程度。

(2) 通过分析数据，说明重金属污染的主要原因。

(3) 分析重金属污染物的传播特征，由此建立模型，确定污染源的位置。

(4) 分析所建立模型的优缺点，为更好地研究城市地质环境的演变模式，另外搜集一些信息，简述建立模型和解决问题的方法。

2 问题分析

城区按功能划分为生活区、工业区、山区、主干道路区及公园绿地区，不同区域环境受人类活动影响的程度不同，根据题目所给数据分别建立模型求解。

问题一、关于重金属的空间分布，题目所给信息中只包含抽象的坐标和数据。为了直观表现，根据题目所给数据，通过二维三次多项式插值的方法，使用 MATLAB 工具，大致绘制出八种重金属元素的空间分布图和区域内的海拔等值线图，通过对比分析重金属的空间分布。关于每个区的污染评价，以《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）和《绿色食品产地环境质量现状评价纲要》（试行）（1994）为基本标准，分别计算出每个区的单因子污染指数和尼梅罗污染综合指数，结合两种指数对各个区域的污染做评价。

问题二、根据数据作出的重金属空间分布图和海拔等值线图，分析污

染物运移的自然原因和人为原因。根据各个区域内的污染评价，找到污染物的来源，得到重金属污染的原因。

问题三、虽然有重金属的空间分布图，但是这种插值结果并未经过检验，所以不能作为查找污染源的最终手段，只能作为参考。通过图看到有些重金属分布广泛，根据分布于海拔的关系，建立赋权值的重心选址模型，采用穷举法，得出重金属污染源的大概位置，再通过分布图的分析，进行数据筛选，使用重心坐标选址模型修正污染源位置；有些重金属分布集中，直接进行数据筛选使用重心坐标选址模型得出污染源位置。

问题四、对比三次多项式插值与克里金插值，对比污染指数评价和模糊综合评价，对比重心选址模型与反演模型，通过对比，得出模型的优缺点。如果搜集到不同深度的土壤检测数据，可以建立迁移模型，得出污染的时间，从而得出污染是由污染物的传播还是由于污染物的排放引起的，从而确定污染源的位置。

3 模型假设

Ⅰ 假设该城区土壤 PH 值为 6.5~7.5。

Ⅱ 不考虑该城区不同区域土质的差别。

Ⅲ 在查找污染源确切位置时，可以忽略浓度分布较小的地区的数据。

Ⅳ 假设每处的土壤可溶性及体积相同，在计算重心时只考虑浓度即可。

Ⅴ 在用赋权值的重心坐标选址法的过程中，筛选数据之后，由于有海拔作为权值，所以可以不用考虑横向作用力对污染源位置的影响。

4 符号说明

表格 1----符号说明

$P_i(i=1.2.3\ldots\ldots8)$	土壤中编号为 i 的重金属污染物的污染指数
$c_i(i=1.2.3\ldots\ldots8)$	土壤中编号为 i 的重金属污染物的实测浓度
$s_i(i=1.2.3\ldots\ldots8)$	编号为 i 的重金属污染物的评价标准（背景值）
$P_{综}$	土壤中重金属污染物的综合污染指数
x	区域的横坐标
y	区域的纵坐标

5 模型的建立与求解

5.1 问题一：重金属元素的空间分布及污染程度分析

5.1.1 重金属元素的空间分布

插值法是函数逼近的一种重要方法，三次多项式插值主要讨论了给定采样点处的函数值后，构造一个三次插值多项式的方法。

建立三次多项式插值模型，使用 MATLAB 软件[1]（代码见附录（1））绘制出该城区不同重金属的二维分布图和海拔等值线图[2]。

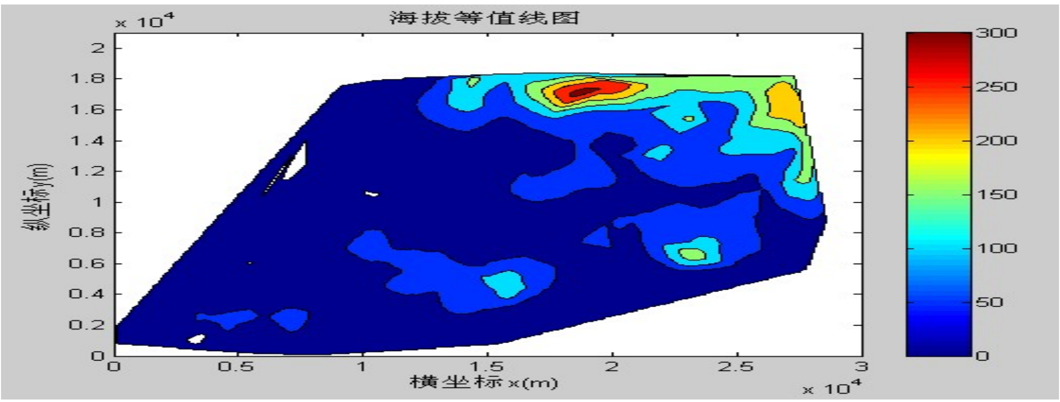


图 1----海拔等值线图

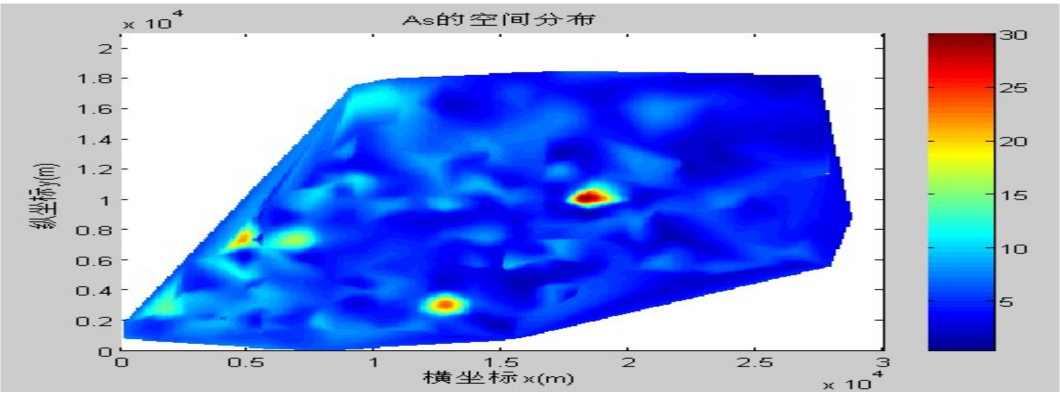


图 2----As 的分布图

As 的分布范围为 1.61～30.13μg/g，空间分布不连续，高值区域呈现一定的扩散趋势，并且图中左半部分的扩散现象明显[3]。对比等值线图，发现扩散区域地势较低很可能是由于污染物的运移造成的污染。

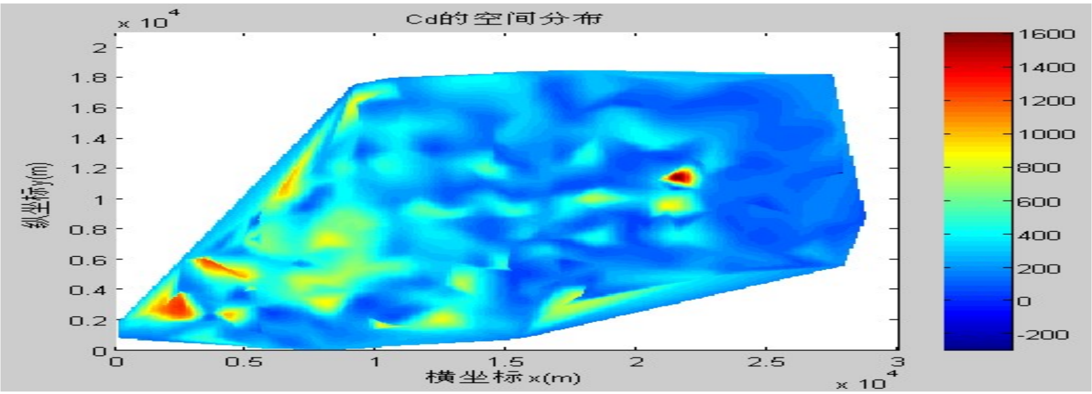
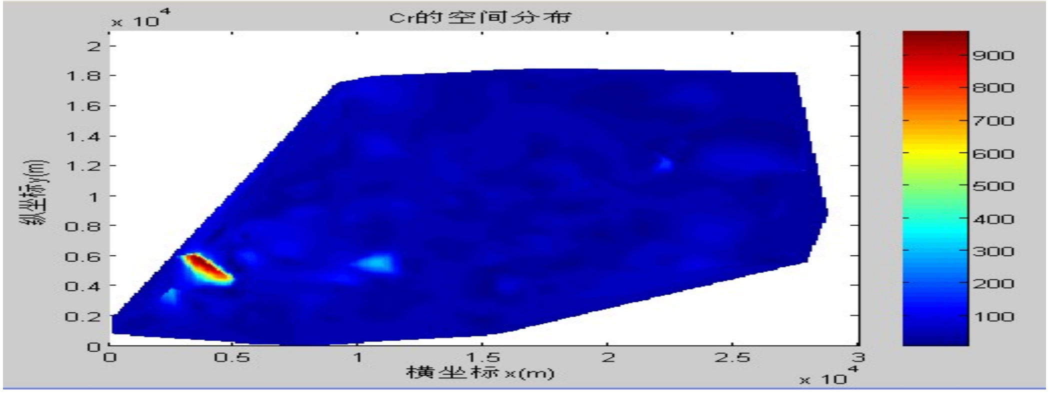


图 3----Cd 的分布图

Cd 的含量范围为 40.00~ 1619.80ng/g，空间分布趋势不明显，高值区域呈现一定的扩散趋势。对比等值线图，发现扩散区域地势较低很可能是由于污染物的运移造成的污染。



图表 4----Cr 的分布图

Cr 的含量范围为 15.32~920.84μg/g, 空间分布特征明显，高值区集中在 $\{(x,y) \mid x \in [2500,5000], y \in [4000,6000]\}$ 区域。污染物没有明显扩散。

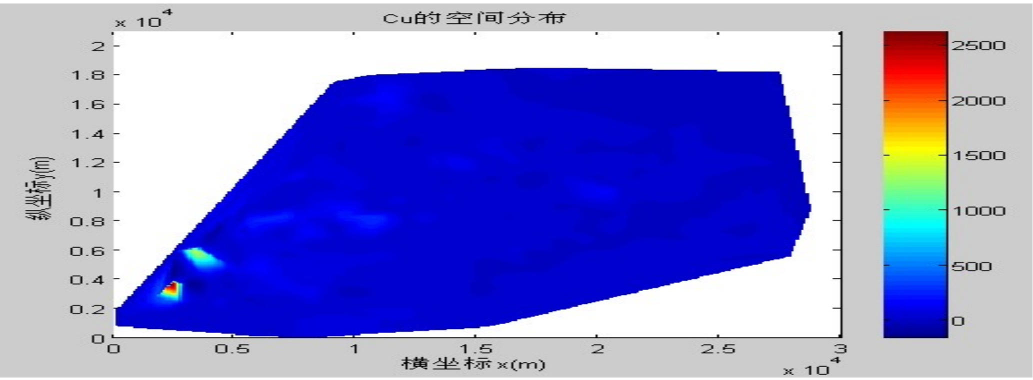


图 5----Cu 的分布

Cu 的含量范围为 2.29~2528.48μg/g，空间分布特征明显，高值区集中在 $x \in [0,5000], y \in [2000,4000]$ 区域，分布相对集中。

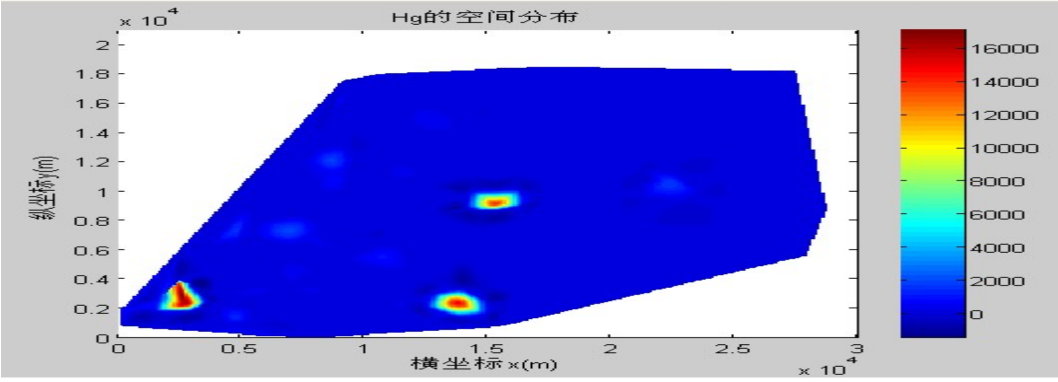


图 6----Hg 的分布图

Hg 的含量范围为 8.57 ~16000.00 ng/g，空间分布不连续，高值区集中在

$$\{(x,y)\,|\,x\in[0,5000],y\in[4000,6000]\}$$

$$\{(x,y)\,|\,x\in[12500,15000],y\in[1000,3000]\}$$

$$\{(x,y)\,|\,x\in[12500,17000],y\in[8000,10000]\}$$

区域，基本不分散。Hg 进入土壤后 95%以上能迅速被土壤固定，因此 Hg 容易在土壤中积累。

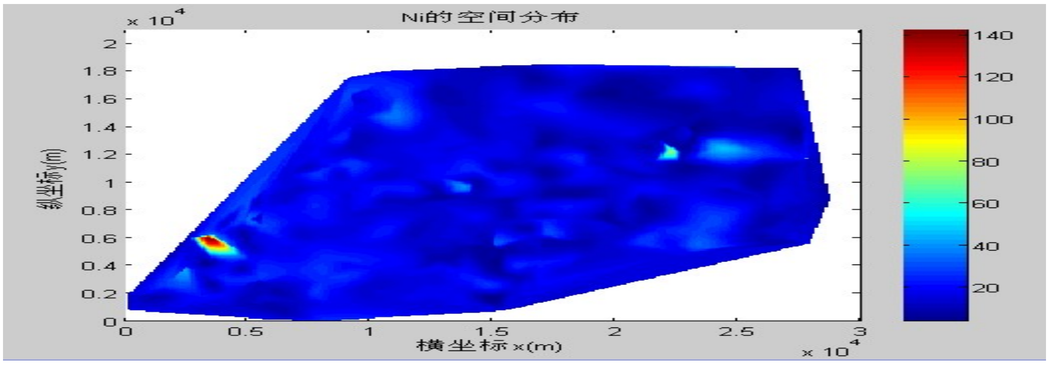


图 7----Ni 的分布图

Ni 的含量范围为 4.27~142.50μg/g ，空间分布特征不明显，高值区集中在 $\{(x,y)\,|\,x\in[2500,5000],y\in[4000,6000]\}$ 区域，但分散比较均匀。

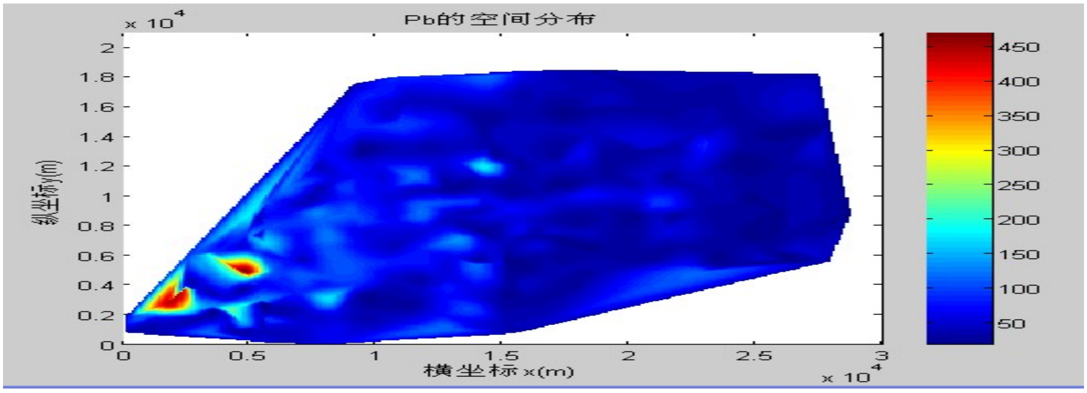


图 8----Pb 的分布图

Pb 的含量范围为 19.68~472.48μg/g ，空间分布特征明显，高值区集中在$\{(x,y)\mid x\in[0,500],y\in[2000,6000]\}$和$\{(x,y)\mid x\in[2500,7500],y\in[4000,6000]\}$区域，在周边地区扩散。

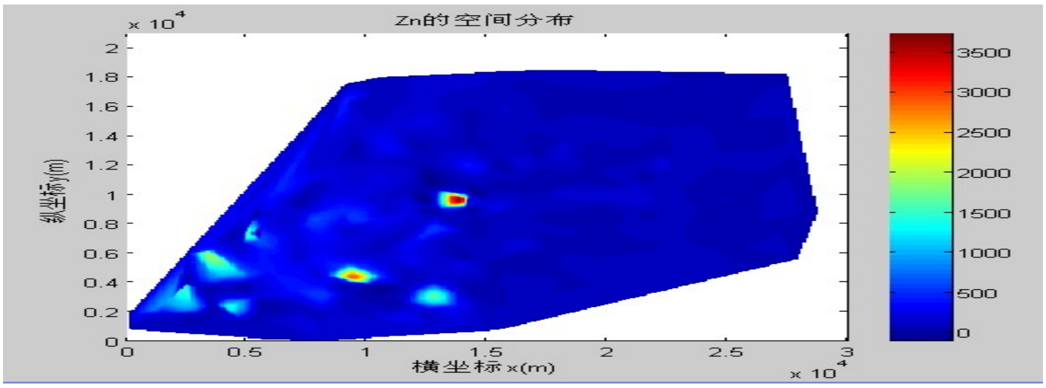


图 9----Zn 的分布图

Zn 的含量范围为 32.86~3760.82μg/g ，空间分布特征明显，高值区集中在$\{(x,y)\mid x\in[7500,10000],y\in[3000,5000]\}$和$\{(x,y)\mid x\in[12500,15000],y\in[8000,10000]\}$区域，扩散较少。

5.1.2 重金属元素污染程度分析

考察人类活动对污染情况的影响，对该城区各功能区各种重金属污染现状的评价可以运用单因子污染指数法和尼梅罗污染综合指数法结合来完成[4,5]。

单因子污染指数公式

$$P_i=\frac{c_i}{s_i} \tag{1}$$

尼梅罗污染综合指数公式

$$P_{综}=\sqrt{\frac{(\frac{c_i}{s_i})^2{}_{平均}+(\frac{c_i}{s_i})^2{}_{最大}}{2}} \tag{2}$$

为表述方便，将各重金属元素编号。

表格 2----各重金属元素编号

i	1	2	3	4	5	6	7	8
元素	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn

根据《土壤环境质量标准》（GB15618——1995）和《绿色食品产地环境质量现状评价纲要》（试行）（1994）确定土壤重金属单因子污染指数评价和尼梅罗污染综合指数评价的污染等级划分。

表格 3----土壤重金属污染等级划分标准[4]

等级	综合污染指数	污染等级	污染水平
1	$P_{综} \le 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 \prec P_{综} \le 1.0$	警戒级	尚清洁
3	$1.0 \prec P_{综} \le 2.0$	轻度污染	土壤受到轻度污染
4	$2.0 \prec P_{综} \le 3.0$	中度污染	土壤受到中度污染
5	$P_{综} \succ 3.0$	重污染	土壤污染已相当严重

利用 Microsoft Excel 软件对实验数据进行处理，得到各功能区重金属单因子污染指数 P_i 和尼梅罗污染综合指数 $P_{综}$，结合表 2 可以得到各功能区的环境污染级别如下表。

表格 4----综合污染评价结果表

功能区	整个城区	生活区	工业区	山区	交通区	公园绿地区
As	1.8367	1.7417	2.0139	1.1222	1.5861	1.7389
污染等级	轻度污染	轻度污染	中度污染	轻度污染	轻度污染	轻度污染
Cd	2.6739	2.2305	3.0239	1.1717	2.7693	2.158
污染等级	中度污染	中度污染	重污染	轻度污染	中度污染	中度污染
Cr	1.9797	2.2265	1.7229	1.2568	1.8726	1.4077
污染等级	轻度污染	中度污染	轻度污染	轻度污染	轻度污染	轻度污染
Cu	7.4907	3.7424	9.6621	1.3121	4.7129	2.2871
污染等级	重污染	重污染	重污染	轻度污染	重污染	中度污染
Hg	14.0589	2.6583	18.3531	1.1703	12.7663	3.2854
污染等级	重污染	中度污染	重污染	轻度污染	重污染	重污染
Ni	1.5121	1.4911	1.6106	1.2561	1.4325	1.2431

污染等级	轻度污染	轻度污染	轻度污染	轻度污染	轻度污染	轻度污染
Pb	2.5835	2.2294	3.0013	1.1794	2.0494	1.9584
污染等级	中度污染	中度污染	重污染	轻度污染	中度污染	轻度污染
Zn	3.4915	3.4349	4.028	1.0622	3.5196	2.2354
污染等级	重污染	重污染	重污染	轻度污染	重污染	中度污染
整个城区综合指数		3.1704	13.5331	1.2532	9.4264	2.7343
污染等级		重污染	重污染	轻度污染	重污染	中度污染

由表 3 可知：

就整个城区而言 As、Cr、Ni 为轻度污染，Cd 和 Pb 为中度污染 Cu、Hg 和 Zn 属于重污染，其中 Cu 和 Hg 的污染尤为严重,；

生活区 As 和 Ni 为轻度污染, Cd、Cr、Hg 和 Pb 为中度污染，Cu 和 Zn 属于重污染，整个功能区评定为重污染；

工业区 Cr、Ni 为轻度污染，As 为中度污染，Cd、Cu、Hg、Pb、Zn 为重污染，其中 Cu 和 Hg 的污染特别严重，整个功能区评定为重污染；

山区全部为轻度污染，土壤状况相对良好，整个功能区评定为轻度污染；

交通区 As、Gr、Ni 为轻度污染，Cd 和 Pb 为中度污染，Cu、Hg 和 Zn 为重污染，其中 Hg 的污染最为严重，整个功能区评定为重污染；

公园绿地区的 As、Gr、Ni、Pb 为轻度污染，Cd、Cu、Zn 为中度污染，Hg 为重污染，整个功能区评定为中度污染。

所以从综合评价的结果来看，该城区的重金属污染较为严重，尤其是工业区和交通区，情况不容乐观。

5.2 问题二：分析重金属污染的主要原因

通过分析对比重金属分布图和海拔等值线图可以猜测各重金属元素大致的来源。

As、Cd 既有集中分布的区域，又有广泛扩散的区域，而且广泛分散分布在海拔较低的部分，根据推流运移理论，猜测这一部分是由空气或者流水传播过来的。故在高处浓度集中分布的地区，可近似划定为污染的源头所在区域。

Cr、Cu、Hg、Ni 只有集中分布的区域，说明仅在这一个地带富集，说明这一区域为富集区或源头所在地。

Pb、Zn 虽然既有集中分布的区域，又有广泛扩散的区域，但是与海拔关系不大，所以扩散视为人为因素。

再根据污染评价的结果对每个区作分析。因评价时选用了该城区自然区的重金属元素含量为背景值，所以不必考虑自然原因对其来源的影响。

生活区 As 和 Ni 为轻度污染, Cd、Cr、Hg 和 Pb 为中度污染，Cu 和 Zn 属于重污染；

工业区 Cr、Ni 为轻度污染，As 为中度污染，Cd、Cu、Hg、Pb、Zn 为重污染，其中 Cu 和 Hg 的污染特别严重；

山区全部为轻度污染，土壤状况相对良好；

交通区 As、Gr、Ni 为轻度污染，Cd 和 Pb 为中度污染，Cu、Hg 和 Zn 为重污染，其中 Hg 的污染最为严重；

公园绿地区的 As、Gr、Ni、Pb 为轻度污染，Cd、Cu、Zn 为中度污染，Hg 为重污染。

由所给这些数据，分别从重金属空间分布图和污染评价两个角度综合分析并结合重金属用途[6]得到如下结论。

表格 5----各功能区重金属污染主要原因

生活区	化妆品、照明灯、等含有大量的 Hg，燃煤排放大量的 Hg 和 Zn；燃料、电池中 Cd 量较高；劣质化妆品中含有大量的 Cr；Pb 主要来源于各种油漆、涂料、蓄电池、冶炼、五金、机械、电镀、化妆品、染发剂、釉

	彩碗碟、餐具、燃煤、膨化食品、自来水管等。这些重金属元素有些在垃圾堆放过程中经过自然自然沉降和雨淋沉降进入土壤，有些通过食物链进入人体，排泄物含有大量的重金属元素；有些随粉尘进入土壤
工业区	Cu 主要来源是铜锌矿的开采和冶炼、金属加工、机械制造、钢铁生产等，Hg 主要来源于仪表厂、食盐电解、贵金属冶炼等，Pb 的主要来源为电镀；Cd 要来源有电镀、采矿、冶炼、燃料、电池和化学工业等；Zn 的主要来源开采、冶炼加工、机械制造以及镀锌、仪器仪表、有机会合成和造纸等工业的排放；As 主要来源于采矿、冶金、化学制药等
交通区	Pb、Zn、Cd、Cu 主要来源于含 Pb 汽油的燃烧和汽车轮胎磨损产生的粉尘，经过自然沉降和雨淋沉降进入土壤
	农药、化肥和地膜是重要的农

公园绿地区	用物资，但长期不合理施用可能导致土壤重金属污染，个别农药中含有 Hg、As、Cu、Zn 等重金属。大部分 Hg 随消毒种子进入土壤，含 As 农药的施用造成 As 在土壤中的积累，杀菌农药造成 Cu、Zn 累积，随磷肥进入土壤的 Cd 也一直受到关注。而且污水灌溉使公园绿地区受工业区重金属含量的影响，Cd、Cu、Hg、Zn 的也逐渐积累，Pb 的迁移性弱，所以灌溉区 Pb 的累积特点是离污染源近土壤中含量高。

5.3 问题三：分析重金属污染物的传播特征，确定污染源的位置

5.3.1 金属污染物的传播特征

对比重金属分布图和海拔等值线图可以得到：

As、Cd 既有集中分布的区域，又有广泛扩散的区域，并且广泛分散分布在海拔较低的部分，根据推流运移理论，猜测这分散分布的部分是由空气或者流水传播过来的。

Cr、Cu、Hg、Ni 只有集中分布的区域，说明这些重金属仅在这一个地带富集，说明这一区域为富集区或源头所在地。

Pb、Zn 虽然既有集中分布的区域，又有广泛扩散的区域，但是与海拔

关系不大，所以扩散视为人为因素。

5.3.2 确定污染源的位置

先建立带权值的重心坐标选址法[7]确定 As、Cd 污染源的大概位置。

带权值的重心坐标选址法，是指基于污染物海拔高度的不同附上不同的权值，然后用重心坐标选址的方法找出污染源的位置。由于重心坐标的位置是所有重金属元素相对于其位置重力矩最小的位置，用 MATLAB 采用穷举法的算法进行运算，找到重心距之和最小的位置。设重心坐标的位置为（x_0，y_0），原题所给数据中任意一处的元素坐标为（x_i，y_i,），浓度为c_i，体积为V_i。设每个采样点的重力矩为$F(x,y)$。

$$F(x,y)=V_i\times c_i\times\sqrt{(x_i-x_0)^2+(y_i-y_0)^2} \tag{3}$$

$$G(x,y)=\sum_{i=1}^{n}F(x_i,y_i) \tag{4}$$

然后利用穷举法使用 MATLAB 工具箱求解（代码见附录（2）、（3））。解得：As 的重心坐标为（16800,10080），Cd 的重心坐标为（15600,9520）。

结合图形发现所求的 As 的重心坐标接近富集区为

$$\{(x,y)|x\in[15140,19767],\ \mathrm{y}\in[8287,11933]\},$$

Cd 的重心坐标接近富集区为

$$\{(x,y)\}x\in[2486,4948],\ \mathrm{y}\in[4603,7293]\},$$

观察其他重金属元素的分布，并无出现扩散，但是出现多位置的富集，分别筛选数据，选取富集区以内的采样点。

表格 6----各种重金属富集区域

重　金	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$y_{\min}$	$y_{\max}$

属				
As	15140	19767	8287	11933
Cd	2486	4948	4603	7293
Cr	2586	4777	4357	6018
Cu	2383	3927	2110	4357
Hg	2383	3927	2110	3971
Ni	3299	4948	4357	7293
Pb	3526	6924	4080	5696
Zn	13797	14325	8666	11941

再次进行重心坐标选址的 MATLAB 穷举算法（代码见附录（2）、（3）），得出结果，制作如下表格。

表格 7----污染源位置坐标

重金属元素	x(m)	y(m)
As	18100	10080
Cd	3900	5950
Cr	3800	5320
Cu	2400	3710
Hg	2700	2310
Ni	3300	6020
Pb	4800	4830

Zn	13800	9590

5.4 问题四：模型评价、改进及新模型引入

5.4.1 模型的优点

本文分析重金属空间分布时运用了二维三次多项式插值的方法绘制重金属分布图，多项式插值是根据已知采样点的数据值拟合一个多项式函数，用这个多项式函数来表达连续分布的地理空间的方法，这种方法简单、使用方便。

运用单元型污染指数和尼梅罗土壤污染综合指数评价法结合对该城区污染情况做出了分析，单元型污染指数法单独对各个功能区每种金属的污染进行分析，内梅罗土壤污染综合指数法对整个城区每种元素的综合污染进行分析，数学过程简捷，物理概念清晰，便于决策者做出综合决策。

在问题二中分析污染来源时结合迁移理论和分布图，结果更准确。

问题三确定污染源位置时，先进行数据筛选再运用重心选址模型，避免了大量的运算，并且此种方法要求各样本点固定，适用于本题。

5.4.2 模型的缺点

尽管运用多项式插值计算简单，但这种算法误差较大。

尼梅罗土壤污染综合指数评价法过于突出最大污染因子对土壤污染的影响，没有考虑到权重因素，没有把危害性最大的因子放在重要角度进行分析。

确定污染源的位置除运用了重心选址模型，在函数图形不均匀的情况下会出现结果突变现象，影响污染源的确定。

5.4.3 模型的改进

(1) 对于多项式插值算法误差大的问题，我们可以运用克里金插值进行改进。

克里金插值法假设区域空间变量 x 在空间上的分布满足函数 $f(x)$，并将 x 的空间分布分解为三部分：变量 x 在空间上分布的主体趋势；变量 x 具有一定相关性的随机影响变量，这些随机变量受 x 分布的影响；随机噪声项与 x 的空间分布不具备相关性，且与 x 分布的整体趋势无关。

$$f(x)=\varphi(x)+\omega(x)+\varepsilon \tag{5}$$

式中，$\varphi(x)$是空间变量 x 分布的整体趋势函数，$\omega(x)$是随机影响变量，ε是随机噪声项。

克里金插值法又称为空间自协方差最佳内插法，不仅可以获得预测结果，还能够获得预测误差，有利于评估插值结果的不确定性。克里金插值法是精度较高的一种算法，但这种算法运算量大，计算耗费时间比较多，这里我们不做详细计算。

(2) 为了更合理地反映土壤环境的污染程度，应考虑危害性最大的重金属的权重因素。改进的梅罗综合污染指数计算公式为：

$$P_{综}^{`} = \sqrt{\frac{(\frac{c_i}{s_i})^2_{平均} + \left(\frac{(\frac{c_i}{s_i})_{最大} + P_w}{2}\right)^2}{2}} \quad (6)$$

其中 P_w 为权重值最大的污染因子 c_i 与 s_i 的比值。

各种重金属对环境和人体的危害程度有很大差别，一般的，某种重金属的危害性与

该污染因子的背景值基本上呈反比例的内在关系。首先将各重金属 s_i 的背景值由小到大的顺序排列，并将其最大值 s_{max} 和 s_i 比较，令 R_i 表示第 i 中重金属的相关性比值。

$$R_i = \frac{S_{max}}{S_i} \quad (7)$$

$$令\ w_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^{n} R_i} \quad (8)$$

其中，w_i 为第 i 种污染因子的权重值，显然 $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$。

通过简单计算可以得到各重金属的权重值如下表。

表格 8----各重金属权重值

w_{As}	w_{Cd}	w_{Cr}	w_{Cu}	w_{Hg}	w_{Ni}	w_{Pb}	w_{Zn}
0.0076	0.2092	0.0009	0.0020	0.7768	0.0022	0.0009	0.0004

由表 可以看出权重值最大的重金属是 Hg，污染等级的划分同表 2，根据采样点重金属的浓度，运用公式（6）计算出各功能区的尼罗梅综合污

染指数如下表。

表格 9----改进后的尼梅罗综合污染评价指数

功能区	生活区	工业区	山区	交通区	公园绿地区
综合污染指数	3.2004	18.3531	1.2412	12.7663	3.2854
污染级数	重污染	重污染	轻度染	重污染	重污染

对比表格 3 和表格 8 发现各功能区的综合污染指数有所提高，工业区和交通区的提高尤其大，这是因为改进的尼梅罗评价法考虑了危害性最大的重金属 Hg 的权重因素，而由 Hg 在工业区和交通区的污染来源最广泛可知改进后的评价方法更科学合理。

⑶ 为了克服重心选址模型出现的突变现象，我们可以运用反演模型进行改进。反演是把空间所有力一向同时反过来，利用各样本点的重金属浓度，对污染源的位置和强度进行反演，可以得到概率分布情况，对反演后的统计量进行对比，进而分析出污染源的位置。

5.4.4 收集信息引进模型

为研究城市地质环境的演变模式，还应收集信息解决对应问题。

⑴ 重金属进入土壤后，通过溶解、沉淀、凝聚、络合、吸附等反应，在土壤中形成不同的赋存状态，迁移转化和污染危害程度随着赋存状态的不同而不同。其中PH值是决定土壤重金属存在形态的关键因素，因此收集不同采样点的PH值，根据国家环境质量评定标准，用单因子污染指数和尼梅罗土壤污染综合指数法计算出各个金属元素更精确的污染级别。

⑵ 由于大多数重金属污染物在土壤中的衰减速度和转化过程比较慢，污染物的总质量和总浓度变化可以忽略不计，随着时间的推移，已进入土壤中的重金属污染物在气流或者水流作用下产生空间位置上的转移，致使不同土层中污染物的浓度发生变化。推流迁移只改变污染物所处位置，并不改变污染物的质量和浓度。因此利用数学抽象迁移通量（单位时间通过单位面积的量）来描述污染物的推流迁移。x、y 和 z 方向的污染物质量通量为

$$\Delta m_x = u_x c \qquad (9)$$

$$\Delta m_y = u_y c \qquad (10)$$

$$\Delta m_z = u_z c \qquad (11)$$

式中：Δm_x、Δm_y、Δm_z----在 x、y 和 z 方向上污染物推流迁移通量；

u_x、u_y、u_z----在 x、y 和 z 方向上环境介质流速分量；

c----污染物在环境介质中的浓度。

因此为研究城市地质环境的演变模式，可收集每个采样点对应的深度、土壤质地背景、PH 值和土壤含水率[8]，运用推流迁移模型可以计算出不

同样本点的污染物浓度，进一步可以分析出污染时间和污染源的位置。

6 参考文献

[1]周建兴　岂兴明　矫津毅　常春藤，《MATLAB 从入门到精通》，北京：人民邮电出版社，2008.11（2010.1 重印）。

[2]黎夏　刘凯，《GIS 与空间分析——原理与方法》，北京：科学出版社，2006

[3]许金朵，《空间分布特征与相关性》，《基于 GIS 的金华市区土壤中金属含量空间分布与污染评价研究》，20080501，35-37,2008 年

[4] 陆雍森，《环境评价》，上海：同济大学出版社，1999.9。

[5]肖再亮，兰石，田犀，陈钢，苏培生，《利州区农产品基地土壤重金属污染评价》，环境评价，第 29 卷第 3 期：131-135，2010 年。

[6]刘青松，《环境污染与防治技术》，北京：中国环境科学出版社，2004 年 3 月。

[7]苗兴东　李映红　范存军，《中心选址探讨》，《交通标准化》，第 134 期：50-52,2004 年。

[8]王洋　刘景双　郑娜，《土壤 PH 值对冻融黑土重金属锌赋存形态的影响》，中国科学院东北地理与农业生态研究所，长春，130012。

附录

（1）元素分布代码

```
>> x=Q(:,2:2)';
>> y=Q(:,3:3)';
>> z=Q(:,6:6)';
>> xi=0:100:30000;
>> yi=0:70:21000;
>> [X,Y]=meshgrid(xi,yi);
>> H=griddata(x,y,z,X,Y,'cubic');
>> pcolor(X,Y,H);shading flat
>> colorbar;
xlabel('横坐标 x(m)')
ylabel('纵坐标 y(m)')
title('As 的空间分布')
```

（2）单个功能区选址代码

```
x=As(:,2:2)';
y=As(:,3:3)';
z=As(:,6:6)';
n=length(x);
tx=x;
ty=y;
tz=z;
```

```
min=inf;
for bx=(0:100:30000);
for by=(0:70:21000);
[bx,by]=meshgrid(bx,by);
Z=0;
for j=1:1:n;
M=tz(j);
T=(sqrt((bx-tx(j)).^2+(by-ty(j)).^2));
Z=Z+M.*T;
end
if min>Z
min=Z;
x=bx;
y=by;
end
end
end
x
y
```

（3）整个城区选址代码

```
x=Q(:,2:2)';
y=Q(:,3:3)';
```

```
z=Q(:,6:6)';
h=Q(:,4:4)';
n=length(x);
tx=x;
ty=y;
tz=z;
th=h;
min=inf;
for bx=(0:200:30000);
for by=(0:140:21000);
[bx,by]=meshgrid(bx,by);
Z=0;
for j=1:1:n;
M=tz(j);
T=(sqrt((bx-tx(j)).^2+(by-ty(j)).^2));
P=th(j);
Z=Z+M.*T.*P;
end
if min>Z
min=Z;
x=bx;
y=by;
```

```
end
end
end
x
y
```

（4）Excel 示例元素 As 的筛选数据

编号	X	Y	海拔	区域	浓度
30	17904	8287	25	1	5.83
29	16301	8299	24	1	5.41
237	19072	8519	36	4	6.69
21	15467	8658	17	1	2.91
257	19767	8810	46	4	6.98
25	16428	9069	20	1	4.38
196	17144	9081	20	4	2.91
186	15248	9106	16	4	3.57
212	18393	9183	26	4	1.96
239	17198	9810	37	4	3.89
245	18134	10046	41	4	30.13
38	16289	10072	43	1	5.41
222	15198	10100	28	4	7.34
117	17044	10691	93	3	2.72
274	17814	10707	64	4	6.35

96	18738	10921	53	3	10.99
271	16267	11058	60	4	4.38
72	15140	11101	30	2	3.37
113	19007	11488	84	3	6.14
115	18413	11721	88	3	3.69
248	17087	11933	43	4	8.50